

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2000-258598

(43)Date of publication of application : 22.09.2000

(51)Int.Cl.

G21K 1/06

G01T 1/36

G01T 3/00

G21K 1/00

(21)Application number : 11-060630

(71)Applicant : INST OF PHYSICAL & CHEMICAL
RES

(22)Date of filing : 08.03.1999

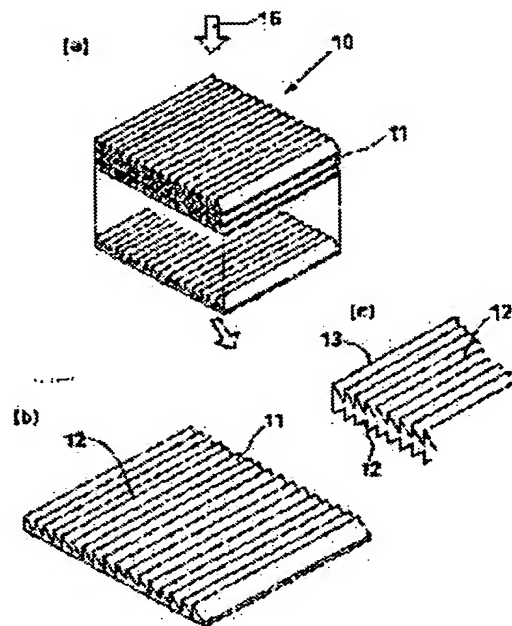
(72)Inventor : SHIMIZU HIROHIKO
OKU TAKAYUKI
KAWABATA YUJI

(54) NEUTRON BEAM CONTROLLER AND DEVICE FOR MEASURING ENERGY OF NEUTRON

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To make it possible to control the form, speed and direction of a neutron beam.

SOLUTION: Plate members 11 where one or a plurality minute protrusions 12 that give an incidence plane or an emission plane inclining to a neutron beam 16 are provided in their faces are stacked. Each of the minute protrusions 12 is shaped, for example, as a slender one that has an approximately vertical plane and an inclined plane to a plane of the plate members 11 and extends toward the inside of the plane (The sectional form of the slender protrusion that is perpendicular in the direction of its length is a triangle). Consequently, the beam distribution form, speed and direction of a neutron beam can be freely controlled. The energy of neutrons can also be measured easily and directly.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

08.03.1999

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

3048569

[Date of registration]

24.03.2000

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

BEST AVAILABLE COPY

[Date of requesting appeal against examiner's
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2000-258598

(P2000-258598A)

(43) 公開日 平成12年9月22日 (2000.9.22)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テームコード* (参考)
G 2 1 K	1/06	G 2 1 K 1/06	B 2 G 0 8 8
			C
G 0 1 T	1/36	G 0 1 T 1/36	A
	3/00	3/00	G
G 2 1 K	1/00	G 2 1 K 1/00	N
審査請求 有 請求項の数10 O L (全 12 頁)			

(21) 出願番号 特願平11-60630

(22) 出願日 平成11年3月8日 (1999.3.8)

(71) 出願人 000006792

理化学研究所

埼玉県和光市広沢2番1号

(72) 発明者 清水 裕彦

埼玉県和光市広沢2番1号 理化学研究所
内

(72) 発明者 奥 隆之

埼玉県和光市大字新倉2857-1 ファイン
コーポラスB202

(72) 発明者 川端 祐司

大阪府泉南郡熊取町大久保1613-12-710

(74) 代理人 100091096

弁理士 平木 祐輔 (外1名)

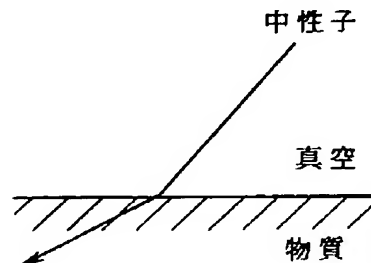
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 中性子ビーム制御装置及び中性子エネルギー測定装置

(57) 【要約】

【課題】 中性子ビームの形状、速度方向等を制御する。

【解決手段】 中性子ビーム16に対して傾斜した入射面あるいは出射面を与える微小突起12が面内に1又は複数設けられた板状部材11を複数枚積層する。微小突起は12、例えば板状部材の面に対して略垂直な面と傾斜した面とを備え面内方向に延びる細長い突起（細長い突起の長手方向に垂直な断面形状は三角形）とする。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 中性子ビームに対して傾斜した入射面あるいは出射面を与える微小突起が面内に1又は複数設けられた板状部材を複数枚積層したことを特徴とする中性子ビーム制御装置。

【請求項2】 請求項1記載の中性子ビーム制御装置において、前記微小突起は前記板状部材の面に対して略垂直な面と傾斜した面とを備え面内方向に延びる細長い突起であることを特徴とする中性子ビーム制御装置。

【請求項3】 請求項1記載の中性子ビーム制御装置において、前記微小突起は前記板状部材の面に対して略垂直な面と傾斜した面とを備える細長い直線状突起であり、各微小突起の傾斜面が同一方向を向いていることを特徴とする中性子ビーム制御装置。

【請求項4】 装置中心軸に対して同心円状に配置された1又は複数の環状突起を有する板状部材を複数枚積層した構造を有し、前記環状突起は前記板状部材の面に対して略垂直な面と前記同心円の内側を向いて傾斜した面とを備え、装置中心軸に平行な方向に見たとき、装置中心軸から離れるほど複数の板状部材による前記環状突起の重なり数が多くなるように構成されていることを特徴とする中性子ビーム制御装置。

【請求項5】 装置中心軸に対して同心円状に配置された1又は複数の環状突起を有する板状部材を複数枚積層した構造を有し、前記環状突起は前記板状部材の面に対して略垂直な面と前記同心円の外側を向いて傾斜した面とを備え、装置中心軸に平行な方向に見たとき、装置中心軸から離れるほど複数の板状部材による前記環状突起の重なり数が多くなるように構成されていることを特徴とする中性子ビーム制御装置。

【請求項6】 請求項4又は5記載の中性子ビーム制御装置において、少なくとも一部の板状部材は中心に開口部を有することを特徴とする中性子ビーム制御装置。

【請求項7】 請求項4記載の中性子ビーム制御装置と請求項5記載の中性子ビーム制御装置とを組み合わせたことを特徴とする中性子ビーム制御装置。

【請求項8】 請求項1～7のいずれか1項記載の中性子ビーム制御装置において、前記板状部材はO、C、Be、F及び／又は重水素を主要構成元素とする材料で造られていることを特徴とする中性子ビーム制御装置。

【請求項9】 請求項1～7のいずれか1項記載の中性子ビーム制御装置において、前記板状部材はポリテトラフルオロエチレン、カーボン、重水素化ポリエチレン、重水、又はドライアイスによって造られていることを特徴とする中性子ビーム制御装置。

【請求項10】 入射中性子をビーム化する手段と、前記手段によってビーム化された中性子が入射する請求項3記載の中性子ビーム制御装置と、前記中性子ビーム制御装置から出射した中性子を検出する位置検出型中性子検出器とを備えることを特徴とする中性子エネルギー測

定装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、中性子ビームのビーム形状、速度方向等を制御する装置、及び中性子のエネルギーを測定する装置に関する。

【0002】

【従来の技術】中性子は、(a)原子核と強く相互作用する、(b)そのエネルギーと波長が原子レベルの運動や構造の大きさと同程度である、(c)透過力が強い等の特徴を有し、物質研究において重要な粒子である。物質研究で広く用いられているX線や光子は電磁相互作用を基礎としており、電子状態に対しての情報を得る手段である。これに対して中性子は核力を基礎として、物質中の原子核に関する情報を提供する。原子雲ではなく、原子核の位置自体を研究対象とするような場合には中性子による散乱実験が不可欠である。

【0003】核力は元素の原子番号に対してほとんど規則性を持たず、かつ同位元素によっても異なる。この点は、X線では元素の原子番号が増すにつれて相互作用の強さが単調に大きくなっていくのとは大きく異なっている。このような特性を利用して、研究対象物に原子散乱因子に近い物が含まれていてそれらを区別するのが困難な場合や、原子番号が同じ同位体元素の配置や位置情報が必要な場合などには中性子散乱を用いる。また、原子番号が大きな元素が含まれた研究対象物の中にある原子番号が小さな元素を精度よく見るような場合にも中性子散乱が有用である。中性子は軽水素原子核との相互作用が極めて大きいことから、X線散乱では測定が極めて難しい有機物中の水素原子の位置の情報を得るような場合などは、中性子散乱実験が不可欠といっても良いような好例である。また、放射線で工業製品等の大型の対象物の内部を研究するような場合には、荷電粒子やX線等の手段で透視することは現実的でないが、中性子であれば透過力が強いために実際に透視が可能となる。

【0004】しかし、中性子は発生が容易でないため、中性子を供給できる場所は原子炉あるいは加速器施設などに限られる。したがって、中性子ビームをプローブとして用いる際にはその効率性が重要である。特に、中性子源自体の強度を向上させるには費用、技術の両面から強い制約を受けるため、中性子源から利用装置までビームを導く際の効率の向上は不可欠である。そのような中性子ビーム輸送技術の根本的な開発は、中性子の利用率を上げ、測定の所要時間の短縮のみならず、これまでに強度などの観点から困難であった一過性現象などを含むその場測定を可能としたり、大型の結晶が得られにくいような新物質の研究等の分野に進展をもたらす可能性を内包している。さらに、放射線安全上の問題からも中性子ビームの利用率の向上は意義深い。

【0005】従来、中性子ビームをその利用位置まで導

く手段として、中性子導管が用いられている。空気中から他の媒質への中性子入射角を小さくしていくと中性子は全反射を起こし、中性子ビームの方向を変えることに利用できる。中性子導管は、この媒質界面での中性子の全反射を利用したもので、空気散乱等による中性子の飛行中の強度減少を防ぐため内部を真空にしたガラス管等の内壁にニッケルなど中性子全反射鏡の材料として適当なものを蒸着したものである。中性子導管に入射した中性子のうち内壁材料の臨界角以下の角度で入射した中性子は、中性子導管内壁面で全反射されて下流側へ運ばれ

【0006】図16は中性子散乱によって材料の構造解析を行う従来の分析装置の概念図を示し、(a)は全体図、(b)は試料近傍の拡大図である。原子炉や放射性同位体あるいは荷電粒子ビームで照射されるターゲット等の中性子源100から四方八方に放出される中性子の一部は、中性子導管101によって試料102の位置まで導かれ、試料102に照射される。比例計数管等で構成される中性子検出器103は試料102によって角度 θ 方向に散乱された中性子の強度を検出する。散乱中性子強度の角度分布を求めることにより、試料102の構造解析を行うことができる。中性子導管101の断面は通常5cm程度のものが使用され、試料102の寸法は1~2cm程度以上のものが使用される場合が多い。

【0007】中性子ビームの密度を高める方法としてキャピラリー管を用いる方法がある。この方法では、図17に示すように、直径10ミクロン程度のガラス管110を多数束ねたものを使用する。この非常に細いキャピラリー管110の中に中性子を通すことによって、中性子導管と同様にキャピラリー管110に沿って中性子を導いて行くことが出来る。このキャピラリー管110を所定の角度に曲げておくことによって、中性子を狭い領域113にある程度収束させ、中性子密度を高めることができる。

【0008】散乱角の測定精度をあげるためには、入射ビームの平行度が十分良いことが要求される。入射ビームが発散ビームである場合には散乱角を定義することができなくなるからである。平行度の良いビームを得るために現在用いられている方法は、中性子回折現象を利用するものである。しかし、この方法によると実際に試料側に導かれる中性子ビームは強度が極端に減少してしまうという難点がある。

【0009】

【発明が解決しようとする課題】中性子ビームをプローブとして用いて新材料の研究を行う場合、試料としては微小なもののしか用意できないことが多い。したがって、微小な試料に対して高密度の中性子ビームを収束して照射することが要求される。また、中性子散乱実験で入射ビームに対する散乱角を高精度に測定するためには、試料に入射する中性子ビームの平行度を上げることが必要

である。

【0010】ところで、物質界面での中性子ビームの全反射を利用する従来の中性子導管は、中性子を導管に沿って導く機能を有するだけであり、中性子ビームを収束させたり、ビーム発散を制御する機能は有していない。そのため、図16(b)に矢印で示すように、中性子導管101から出射した中性子ビーム104は平行ビームではなく発散ビームとなり、検出器103には試料102から $\theta_1, \theta_2, \dots$ と種々の散乱角で散乱された中性子が入射し、中性子散乱角の計測に誤差をもたらす。したがって、試料上流側にスリットを設けてビームの平行度を保証するという方法が採られるが、当然ながら中性子源100から放出される中性子の利用効率は低下する。

【0011】多数のキャピラリー管を束ねて中性子ビームを導く方法によると、中性子の密度を高めることができる。しかし、図17に示すように、入射中性子ビーム111のうちキャピラリー管110とキャピラリー管110の間を通過する中性子112は利用されないため、中性子源から放出される中性子の利用効率が高いとはいえない。また、キャピラリー管を曲げることで中性子ビームを収束させるものであるため、ビーム発散は大きくなってしまい、平行度の高い中性子ビームを得ることはできない。

【0012】平行度の高いビームを得る方法として結晶などによる中性子回折現象を用いたものが存在するが、ビーム発散を極めて小さく抑えることはできてもビーム強度は著しく減少する。このように、従来の中性子ビーム取り扱い技術によっては、狭い領域に一定の方向から高密度の中性子を効率よく照射すること、換言すると、細くかつ強度の高い中性子ビームを得ることはできなかった。

【0013】また、従来、中性子のエネルギーを直接かつ簡便に測定することのできる装置は知られていなかった。本発明は、このような中性子ビーム制御の現状に鑑みてなされたもので、中性子ビームのビーム形状、速度方向等を制御する装置を提供することを目的とする。また、本発明は、中性子のエネルギーを直接かつ簡便に測定することのできる装置を提供することを目的とする。

【0014】

【課題を解決するための手段】中性子と物質との相互作用は、物質中に含まれる原子核との相互作用がほとんどである。低エネルギー中性子と原子核の相互作用はポテンシャルで記述でき、原子核のポテンシャルを物質中の体積で平均したものは有効ポテンシャルと呼ばれる。原子核が物質中で占める体積は非常に小さいため、体積平均した後の有効ポテンシャルの値は極めて小さい。Beの有効ポテンシャルは自然同位体存在比の元素中では最大であるが、それでもおよそ250neVである。

【0015】有効ポテンシャルは多くの場合は正であ

10

20

30

40

50

る。自然同位体存在比の元素の中で負の有効ポテンシャルを持つのはMn, Ti, Li, V, Hであり、それ以外の自然同位体存在比の元素は正の有効ポテンシャルを持つ。有効ポテンシャルが正だと入射中性子は物質中に入る際に運動エネルギーの一部を有効ポテンシャルに奪われることになり、物質境界面に垂直方向に減速を受ける。従って、正の有効ポテンシャルを有する物質との境界面に斜めに入射した中性子は、図1に示すように屈折を受ける。これを屈折率で表現すると、屈折率は1よりも小さな値を持つことになる。なお、有効ポテンシャルが負の場合には逆に、屈折率が1よりも大きな値を持つことになる。

【0016】ここで、物質によって中性子プリズムや中性子レンズ等の中性子屈折装置（中性子ビーム制御装置）を造ることを考えると、中性子プリズムや中性子レンズの素材に要求される要件は、屈折率が1から大きくずれていて中性子を大きく曲げることができること、及び中性子の透過率が高いことである。この要求を満たす候補元素は、自然同位体存在比の元素ではO, C, Be, Fであり、濃縮同位体では重水素Dである。これらの元素からなる化合物であるポリテトラフルオロエチレン（PTFE）の有効ポテンシャルは $(1.12 + i3.9 \times 10^{-3})$ neVであり、PTFEに入射角 45° で入射する波長 14 \AA の中性子はPTFEの境界面で 0.14 mrad 曲げられる。

【0017】物質への一回の斜め入射で中性子ビームが曲げられる角度は小さいが、物質界面の数を増やし、多数回の屈折を連続的に生じさせることで実用的な中性子屈折素子（中性子ビーム制御装置）を造ることが可能である。本発明は、このような中性子ビームと物質との相互作用についての検討に基づいてなされたものであり、化合物等を用いて中性子屈折装置を構成して中性子ビームの形状、速度方向等を制御することを可能にするものである。

【0018】すなわち、本発明による中性子ビーム制御装置は、中性子ビームに対して傾斜した入射面あるいは出射面を与える微小突起が面内に1又は複数設けられた板状部材を複数枚積層したことを特徴とする。微小突起は、例えば板状部材の面に対して略垂直な面と傾斜した面とを備え面内方向に延びる細長い突起（細長い突起の長手方向に垂直な断面形状は三角形）とすることができる。ここで、微小突起を板状部材の面に対して略垂直な面と傾斜した面とを備える細長い直線状突起とし、各微小突起の傾斜面が同一方向を向いているようにすると、本発明の中性子ビーム制御装置は中性子ビームを一方方向に屈折させることができる。この機能は、光学系におけるプリズムの機能に相当する。

【0019】本発明による中性子ビーム制御装置は、また、装置中心軸に対して同心円状に配置された1又は複数の環状突起を有する板状部材を複数枚積層した構造を

有し、前記環状突起は板状部材の面に対して略垂直な面と前記同心円の内側を向いて傾斜した面とを備え、装置中心軸に平行な方向に見たとき、装置中心軸から離れるほど複数の板状部材による前記環状突起の重なり数が多くなるように構成されていることを特徴とする。この中性子ビーム制御装置は中性子ビームを収束することができ、光学系における凸レンズに相当する機能を果たす。

【0020】本発明による中性子ビーム制御装置は、また、装置中心軸に対して同心円状に配置された1又は複数の環状突起を有する板状部材を複数枚積層した構造を有し、前記環状突起は板状部材の面に対して略垂直な面と前記同心円の外側を向いて傾斜した面とを備え、装置中心軸に平行な方向に見たとき、装置中心軸から離れるほど複数の板状部材による前記環状突起の重なり数が多くなるように構成されていることを特徴とする。この中性子ビーム制御装置は中性子ビームを発散させることができ、光学系における凹レンズの機能を果たす。

【0021】ここで、凸レンズの機能を果たす中性子ビーム制御装置あるいは凹レンズの機能を果たす中性子ビーム制御装置に組み込まれる板状部材の少なくとも一部のは中心部（環状突起のない部分）を開口部とすることができる。前記凸レンズの作用をする本発明の中性子ビーム制御装置と凹レンズの作用をする本発明の中性子ビーム制御装置とを組み合わせると、例えば大径の平行中性子ビームを小径の平行中性子ビームに変換する中性子ビーム制御装置を実現することができる。

【0022】板状部材は、中性子の吸収が少ないO, C, Be, F及び／又は重水素を主要構成元素とする材料で造るのが好ましい。板状部材として好適な材料の具体例としては、ポリテトラフルオロエチレン、カーボン、重水素化ポリエチレン、重水、又はドライアイスなどを挙げることができる。重水素化ポリエチレンは、通常のポリエチレンを構成する水素を重水素で置換したものである $[(\text{-CD}_2\text{-CD}_2\text{-})_n]$ 。板状部材を重水によって作製する場合には、テフロンあるいは重水素化ポリエチレンの薄膜で作った容器の中に重水を充填するか、重水の氷にする。

【0023】本発明による中性子エネルギー測定装置は、入射中性子をビーム化する手段と、前記手段によってビーム化された中性子が入射する請求項3記載の中性子ビーム制御装置と、中性子ビーム制御装置から出射した中性子を検出する位置検出型中性子検出器とを備えることを特徴とする。

【0024】

【発明の実施の形態】以下、図面を参照して本発明の実施の形態について説明する。

【実施の形態1】図2及び図3により、中性子ビームを一方方向に曲げる作用する中性子ビーム制御装置について説明する。図2は本実施の形態の中性子ビーム制御装置の構造を説明する模式図、図3は本実施の形態の中性子

ビーム制御装置の作用を説明する模式図である。

【0025】図2(a)に、本実施の形態の中性子ビーム制御装置の全体を概念的に示す。この中性子ビーム制御装置10は、図2(b)に概略形状を示す板状部材11を複数枚積層して構成されている。図2(b)に示す板状部材11は、中性子透過率の高い材料、例えばポリテトラフルオロエチレン(PTFE)、グラッシーカーボン、水素を重水素で置換した重水素化ポリエチレンなどの薄板を加工して、一方向に伸びる断面三角形の細長い直線状の突起12を多数平行に密に並べたものである。板状部材11の材料としては、上記の他にも二酸化炭素あるいは重水を使用することができる。二酸化炭素はドライアイスの形で用い、重水はテフロン又は重水素化ポリエチレンで作った容器の中に充填するか水の形で用いる。板状部材11は突起12が形成された面を下にして積層してもよい。また板状部材として、図2(c)に示すように、細長い直線状突起が片面だけでなく両面に形成された板状部材13を用いることもできる。

【0026】次に、図3により、この中性子ビーム制御装置10の作用について説明する。図3(a)は、1枚の板状部材11に中性子ビーム16が入射したときの様子を説明する断面模式図である。板状部材11の表面には、板状部材11の面に対してほぼ垂直な面14と傾斜した面15からなる直線状突起12が設けられており、この直線状突起12の傾斜面15に入射した中性子ビーム16は、図1にて説明した原理によって屈折される。このとき、板状部材11は、その構成材料が正の有効ポテンシャルを持つため、中性子ビーム16に対して1より小さな屈折率を持つように振る舞う。

【0027】この一度の屈折で中性子ビームが屈折される角度 δ は微小である。例えば、板状部材11がPTFEからなり、直線状突起12の傾斜面15が板状部材11の面に対してなす角度 α が 45° であるとき、板状部材11に垂直に入射した波長 14 \AA の中性子ビームの屈折角 δ は 0.14 mrad にすぎない。そこで本発明の中性子ビーム制御装置10では、コンパクトな構造にて中性子ビーム16の飛行経路中に存在する物質界面の数を増やし、全体としての中性子ビームの屈折角を増大させる。すなわち、本実施の形態の中性子ビーム制御装置10に入射した中性子ビームは、図3(b)に模式的に示すように、積層された複数枚の板状部材11a, 11b, 11c, …の傾斜面15a, 15b, 15c, …を次々と通過し、その度に屈折を受けるので、結果として大きな屈折角 Δ を実現することができる。例えば、前記のように1枚の板状部材11による中性子ビームの屈折角 δ が 0.14 mrad のとき、同じ板状部材を129枚積層することによって中性子ビームの屈折角 Δ を 17 mrad ($=1^\circ$)に増大することができる。

【0028】〔実施の形態2〕次に、中性子ビームを収束する機能を有する中性子ビーム制御装置の一例につい

て説明する。図4は本実施の形態による中性子ビーム制御装置の全体模式図、図5はそのA-A断面図、図6は装置本体部分の分解断面図、図7及び図8はそれぞれ装置本体を構成する板状部材の一例の説明図である。本実施の形態の中性子ビーム制御装置は、装置本体部分20と、装置本体部分20を固定する上下の環状外枠21, 22とからなる。装置は、上下の環状外枠21, 22の間に装置本体部分20を挟み、2つの環状外枠21, 22の間に配置されたピン23に外枠側からネジ24をネジ止めして組み立てられる。ただし、装置の組立方法はここで述べる方法に限らず、どのような方法で組み立てても構わない。

【0029】装置本体部分20は、図6の分解断面図に示されているように、中央部分に穴を設けた多数の板状部材25₁, 25₂, 25₃, …, 25₃₃を積層して構成されている。上方に位置する板状部材は中央部分に設けられた穴の大きさが大きく、また一番下の板状部材は中央部分に穴が無い。従って、図4あるいは図5に示すように、装置本体部分20は、全体的に中央が円錐状に窪んだすり鉢状の形状をしている。この例では、PTFE製の板状部材25₁~25₃₃を33枚積み重ねて本体部分20を構成した。

【0030】図7及び図8により板状部材の構造について説明する。図7は板状部材25₁の説明図であり、図7(a)は板状部材25₁の断面図、図7(b)は平面図である。板状部材25₁は、図示した例では33枚重ねられたうちの上から10枚目の板状部材に相当し、厚さ1.2mmのPTFE薄板に断面形状が三角形で高さが1.0mmの環状突起31を同心円状に、かつ半径方向に連続して10本設けてある。入射中性子ビームのビーム軸に対して傾斜した入射面を与える断面三角形の環状突起31の傾斜面31aは、同心円の内側、すなわち装置本体部20の中心軸方向を向いている。環状突起31のない中央部分には円形の穴32が開けられている。また、板状部材25₁の周縁部にはピン23を通すための穴33a~33dが設けられている。

【0031】図8は33枚重ねられたうちで一番下に位置する板状部材25₃₃の説明図であり、図8(a)は板状部材25₃₃の断面図、図8(b)は平面図である。板状部材25₃₃は、厚さ1.2mmのPTFE薄板に断面形状が三角形で高さが1.0mmの環状突起31を同心円状に、かつ半径方向に連続して33本設けてある。入射中性子ビームのビーム軸に対して傾斜した入射面を与える断面三角形の環状突起31の傾斜面31aは、同心円の内側を向いている。この板状部材25₃₃は、他の板状部材25₁~25₃₂と異なり、中央部分に穴がない。なお、板状部材25₁の周縁部にはピン23を通すための穴33a~33dが設けられている。

【0032】以上の説明から理解されるように、装置本体部分20の下から2番目に位置する板状部材25

は、図8に示した板状部材の一番中心に位置する環状突起を除去してそこに穴をあけたものに相当し、装置本体部分20の下から3番目に位置する板状部材25は、図8に示した板状部材の中央の2つの環状突起を除去してそこに穴をあけたものに相当する。同様に、装置本体部分20の下からn番目に位置する板状部材25は、図8に示した板状部材の中心に位置する(n-1)個の環状突起を除去してそこに穴をあけたものに相当する。

【0033】この中性子ビーム制御装置の軸に平行に入射した中性子ビームは、それぞれ板状部材に設けられた環状突起31の傾斜面に斜め入射するため、図1あるいは図3に示したようにして、中性子ビーム制御装置の中心軸方向に偏向される。ここで、中性子ビーム制御装置の中心軸付近に入射する中性子ビームは比較的少ない数の環状突起を通過して装置から出射するため偏向量が小さいが、装置中心軸から離れた位置に入射する中性子ビームは多くの環状突起を通過して装置から出射するため偏向量が大きくなる。例えば、最中心に位置する環状突起に入射した中性子ビームはその傾斜面によって1度の屈折を受けるだけであるが、最外側の環状突起に入射した中性子ビームは全ての板状部材25₁～25_nの最外側の環状突起の傾斜面に斜め入射することで合計33回の屈折を受ける。こうして、本実施の形態の中性子ビーム制御装置は、光学系における凸レンズに類似した機能を果たし、中性子ビームを微小領域に収束することができる。

【0034】例えば、環状突起31の傾斜面31aが板状部材25の面に対してなす角度αが45°であるとき、本実施の形態の中性子ビーム制御装置に波長14Åの平行中性子ビームを入射させた場合、約3m離れた位置に焦点を結ぶ。従って、この中性子ビーム制御装置を2段に重ねて使うと、波長14Åの平行中性子ビームを1.5mの位置に、3段に重ねて使うと約1mという短い距離に焦点を結ばせることが可能である。また、波長20Åの平行中性子ビームは本実施の形態の中性子ビーム制御装置を1段使用するだけで約1.5mの位置に焦点を結ばせることができる。

【0035】なお、環状突起31の傾斜面31aが板状部材25の面に対してなす角度αは45°である必要はなく、材料の加工精度や中性子ビーム制御装置に必要な性能等を考慮して適宜の値に設計することが可能である。また、板状部材の枚数も33枚である必要はないし、環状突起の数が同じ板状部材を複数枚、例えば2枚ずつ重ねた構造とすることもできる。板状部材の環状突起は下面に形成しても、両面に形成してもよい。更に、ここで説明した例では同心円状に形成する複数の環状突起の傾斜面の傾斜角度を全て同じにしたが、光学系に使用されるフレネルレンズのように、外側に位置する環状突起ほど傾斜面の傾斜角度を大きくするようにしてもよ

い。

【0036】〔実施の形態3〕中性子ビームを発散する機能を有する中性子ビーム制御装置の一例について説明する。この中性子ビーム制御装置は図9は本実施の形態による中性子ビーム制御装置の全体模式図、図10はそのB-B断面図、図11は装置本体部分の分解断面図、図12及び図13はそれぞれ装置本体を構成する板状部材の一例の説明図である。図9から図13において、図4から図8と同等の部分には図4から図8と同じ番号を付し、詳細な説明を省略する。

【0037】本実施の形態の中性子ビーム制御装置は、装置本体部分40と、装置本体部分40を固定する上下の環状外枠21、22を備える。装置本体部分40は、図11の分解断面図に示されているように、中央部分に穴を設けた多数の板状部材45₁、45₂、45₃、…、45_nを積層して構成されている。上方に位置する板状部材ほど中央部分に設けられた穴の大きさが大きく、また一番下の板状部材45_nは中央部分に穴が無い。従って、図9及び図10に示すように、装置本体部分40は、全体的に中央が円錐状に窪んだすり鉢状の形状をしている。この例では、PTFE製の板状部材45₁～45_nを33枚積み重ねて本体部分40を構成した。

【0038】図12及び図13により板状部材の構造について説明する。図12は板状部材45₁の説明図であり、図12(a)は板状部材45₁の断面図、図7(b)は平面図である。板状部材45₁は、図示した例では33枚重ねられたうちの上から10枚目の板状部材に相当し、厚さ1.2mmのPTFE薄板に断面形状が三角形で高さが1.0mmの環状突起51を同心円状に、かつ半径方向に連続して10本設けてある。入射中性子ビームのビーム軸に対して傾斜した入射面を与える断面三角形の環状突起51の傾斜面51aは、同心円の外側を向いている。環状突起51のない中央部分には円形の穴52が開けられている。また、板状部材45₁の周縁部にはピン23を通すための穴53a～53dが設けられている。

【0039】図13は33枚重ねられたうちで一番下に位置する板状部材45_nの説明図であり、図8(a)は板状部材45_nの断面図、図8(b)は平面図である。板状部材45_nは、厚さ1.2mmのPTFE薄板に断面形状が三角形で高さが1.0mmの環状突起51を同心円状に、かつ半径方向に連続して33本設けてある。入射中性子ビームのビーム軸に対して傾斜した入射面を与える断面三角形の環状突起51の傾斜面51aは、同心円の内側を向いている。この板状部材45_nは、他の板状部材45₁～45_{n-1}と異なり、中央部分に穴がない。なお、板状部材45₁の周縁部にはピン23を通すための穴53a～53dが設けられている。

【0040】以上の説明から理解されるように、本実施の形態においては、装置本体部分40の下から2番目に

位置する板状部材45_jは、図13に示した板状部材の一番中心に位置する環状突起を除去してそこに穴をあけたものに相当し、置本体部分40の下から3番目に位置する板状部材45_jは、図13に示した板状部材の中央の2つの環状突起を除去してそこに穴をあけたものに相当する。同様に、装置本体部分40の下からn番目に位置する板状部材45_jは、図13に示した板状部材の中心に位置する(n-1)個の環状突起を除去してそこに穴をあけたものに相当する。全体としてみると、本実施の形態の中性子ビーム制御装置は、実施の形態2で説明した中性子ビームを収束する機能を有する中性子ビーム制御装置の環状突起の形状を傾斜面が外側に向くように変更したものに相当する。

【0041】この中性子ビーム制御装置の軸に平行に入射した中性子ビームは、それぞれ板状部材に設けられた環状突起51の傾斜面に斜め入射するため、図1あるいは図3に示したようにして、中性子ビーム制御装置の中心軸から離れる方向に偏向される。ここで、中性子ビーム制御装置の中心軸付近に入射する中性子ビームは比較的少ない数の環状突起を通過して装置から出射するため偏向量が少ないが、装置中心軸から遠い位置に入射する中性子ビームほど多くの環状突起を通過して装置から出射するため偏向量が大きくなる。例えば、最中心に位置する環状突起に入射した中性子ビームはその傾斜面51aによって1度の屈折を受けるだけであるが、最外側の環状突起に入射した中性子ビームは全ての板状部材45₁～45_jの最外側の環状突起の傾斜面51aに斜め入射することで合計33回の屈折を受ける。こうして、本実施の形態の中性子ビーム制御装置は、光学系における凹レンズに類似した機能を果たし、中性子ビームを発散させることができる。

【0042】例えば、環状突起51の傾斜面51aが板状部材45の面に対してなす角度αが45°であるとき、本実施の形態の中性子ビーム制御装置に波長14Åの平行中性子ビームを入射させた場合、最外周を通過した中性子は約4.5mrad中心軸から離れる方向に発散される。なお、環状突起51の傾斜面51aが板状部材45の面に対してなす角度αは45°である必要はなく、材料の加工精度や中性子ビーム制御装置に必要な性能等を考慮して適宜の値に設計することが可能である。また、板状部材の枚数も33枚である必要はないし、環状突起の数が同じ板状部材を複数枚、例えば2枚ずつ重ねた構造とすることもできる。板状部材の環状突起は下面に形成しても、両面に形成してもよい。更に、ここで説明した例では同心円状に形成する複数の環状突起の傾斜面の傾斜角度を全て同じにしたが、光学系に使用されるフレネルレンズのように、外側に位置する環状突起ほど傾斜面の傾斜角度を大きくするようにしてもよい。

【0043】以上の実施の形態1～3では、主に中性子ビームを一方方向に曲げる作用する中性子ビーム制御装置

(光学系におけるプリズムに相当)、中性子ビームを収束する機能を有する中性子ビーム制御装置(光学系における凸レンズに相当)、中性子ビームを発散する機能を有する中性子ビーム制御装置(光学系における凹レンズに相当)について説明してきたが、本発明を利用すると中性子ビームに対する任意の屈折素子を作製することが可能である。

【0044】〔実施の形態4〕図14は、本発明による中性子エネルギー測定装置の概略構成図である。この装置は、入射中性子60をビーム化するための中性子スリット61、62、中性子ビームをエネルギー分散するための中性子ビーム制御装置63、及び位置検出型中性子検出器64からなる。中性子ビーム制御装置63としては、実施の形態1において説明した中性子ビームを一方方向に曲げる作用する中性子ビーム制御装置を用いることができる。このとき、中性子の波長λと屈折角δの間には次式で表される関係がある。

$$\delta/\lambda^2 = \text{一定}$$

【0045】そのため、高速の中性子(エネルギーが高く、波長の短い中性子)65は中性子ビーム制御装置63による偏向量が少なく、遅い中性子(エネルギーが低く、波長の長い中性子)66ほど大きく偏向される。従って、中性子ビーム制御装置63を通過した中性子の位置検出型中性子検出器64への入射位置を検出することにより、中性子のエネルギー(波長、速度)あるいはエネルギー分布を知ることができる。

【0046】〔実施の形態5〕図15は、中性子ビーム収束制御装置、中性子ビーム発散制御装置及び中性子ビーム経路湾曲制御装置を組み合わせて用いる例を示す概念図である。中性子ビーム収束制御装置としては図4から図8を用いて実施の形態2で説明した装置を用いることができ、中性子ビーム発散制御装置としては図9から図13を用いて実施の形態3で説明した装置を用いることができる。また、中性子ビーム経路湾曲制御装置としては図2及び図3を用いて説明した実施の形態1の装置を用いることができる。中性子源80は、原子炉、加速器を用いたスパレーション中性子源、放射性同位体を用いた中性子源から放出される高速中性子を減速材で減速したものなどを用いることができ、矢印で示すように減速材表面から中性子が四方八方に放出される。

【0047】中性子源80から種々の方向へ取り出された中性子のあるものは、中性子ビーム収束制御装置81a及び中性子ビーム発散制御装置81bを介して高強度の細いビームに収束され、中性子ビーム経路湾曲制御装置81cによって経路を曲げられ、更に中性子ビーム収束制御装置81d及び中性子ビーム発散制御装置81eによって高強度の細いビームに収束された上で、中性子散乱実験装置等の中性子ビーム利用装置91に導かれる。また、他の中性子は、中性子ビーム収束制御装置82a、83a、84a、85a及び中性子ビーム発散制

御装置82b、83b、84b、85bによって高強度の細いビームに収束され、中性子ビーム経路湾曲制御装置82c、83c、84c、85cによって1本のビームにまとめられ、さらに中性子ビーム収束制御装置86及び中性子ビーム発散制御装置87を通すことによって細いビームに収束されて中性子ビーム利用装置92に導かれる。このような配置によると、高強度でビーム発散が制御された中性子ビームを得ることが可能となり、中性子ビームの利用効率を向上させ、これまでの強度の問題でできなかった程に微小な試料の研究が可能となり、同時にやはり同じく強度の問題上困難であったその場測定が可能になる。

【0048】

【発明の効果】本発明によると、中性子ビームのビーム分布形状、速度方向等を自由に制御することができる。また、本発明によると、中性子のエネルギーを簡便に且つ直接的に測定することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】物質による中性子の屈折の原理を説明する図。

【図2】本発明による中性子ビーム制御装置の一例の構造を説明する模式図。

【図3】図2に示した中性子ビーム制御装置の作用を説明する模式図。

【図4】本発明による中性子ビーム制御装置の他の例の全体模式図。

【図5】図4のA-A断面図。

【図6】装置本体部分の分解断面図。

【図7】装置本体部分を構成する板状部材の一例の説明図。

【図8】装置本体部分を構成する板状部材の他の例の説明図。

【図9】中性子ビーム制御装置の他の例の全体模式図。

【図10】図9のB-B断面図。

【図11】装置本体部分の分解断面図。

*【図12】装置本体部分を構成する板状部材の一例の説明図。

【図13】装置本体部分を構成する板状部材の他の例の説明図。

【図14】本発明による中性子エネルギー測定装置の概略構成図。

【図15】中性子ビーム収束制御装置、中性子ビーム発散制御装置及び中性子ビーム経路湾曲制御装置を組み合わせて用いる例を示す概念図。

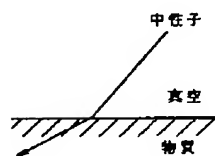
【図16】中性子散乱によって材料の構造解析を行う従来の分析装置の概念図を示し、(a)は全体図、(b)は試料近傍の拡大図。

【図17】キャピラリー管を用いて中性子密度を高める方法を説明する図。

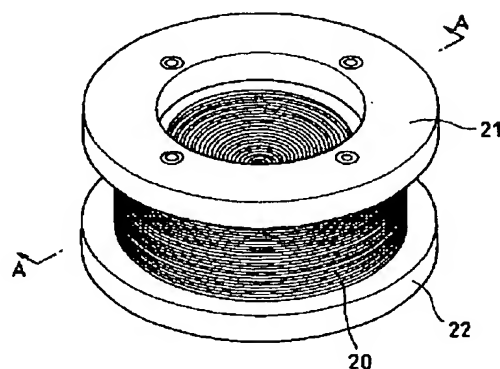
【符号の説明】

10…中性子ビーム制御装置、11…板状部材、12…直線状突起、13…板状部材、14…垂直面、15…傾斜面、16…中性子ビーム、20…装置本体部分、21、22…環状外枠、23…ピン、24…ネジ、25、～25_j…板状部材、31…環状突起、31a…傾斜面、32…穴、33a～33d…穴、40…装置本体部分、45₁～45_j…板状部材、51…環状突起、51a…傾斜面、52…穴、53a～53d…穴、60…入射中性子、61、62…中性子スリット、63…中性子ビーム制御装置、64…位置検出型中性子検出器、65…高速の中性子、66…遅い中性子、80…中性子源、81a、81d、82a、83a、84a、85a、86…中性子ビーム収束制御装置、81b、81e、82b、83b、84b、85b、87…中性子ビーム発散制御装置、81c、82c、83c、84c、85c…中性子ビーム経路湾曲装置、91、92…中性子ビーム利用装置、100…中性子源、101…中性子導管、102…試料、103…検出器、104…中性子ビーム、110…キャピラリー管、111…中性子ビーム

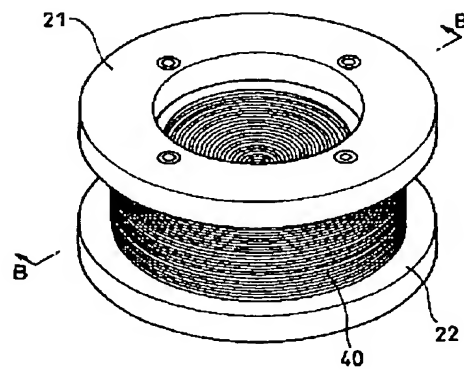
【図1】



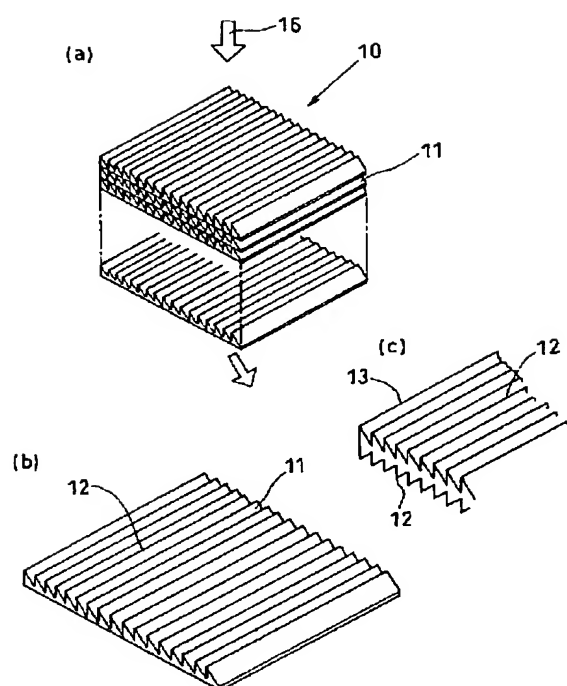
【図4】



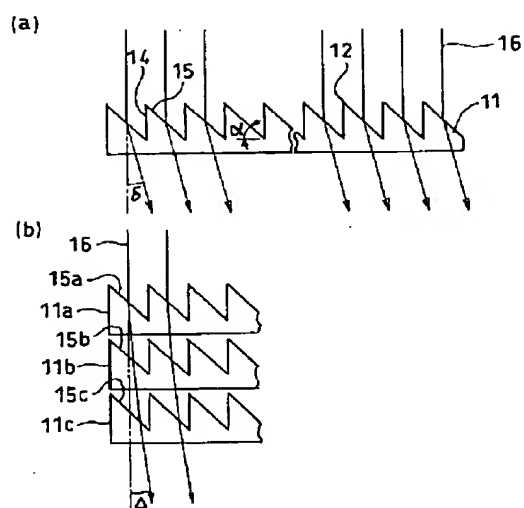
【図9】



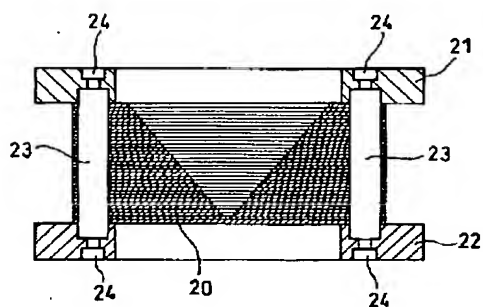
【図2】



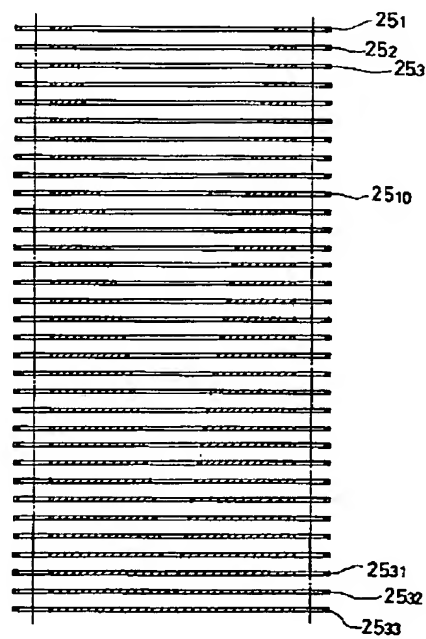
【図3】



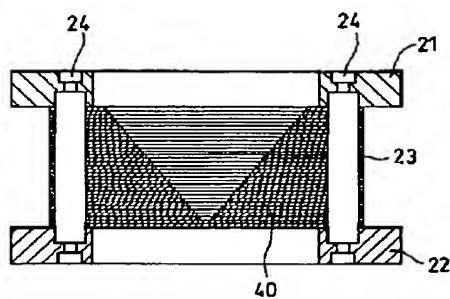
【図5】



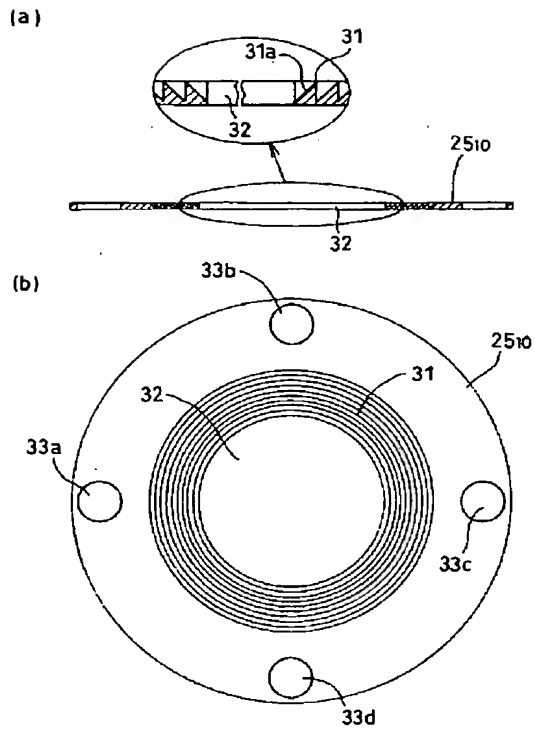
【図6】



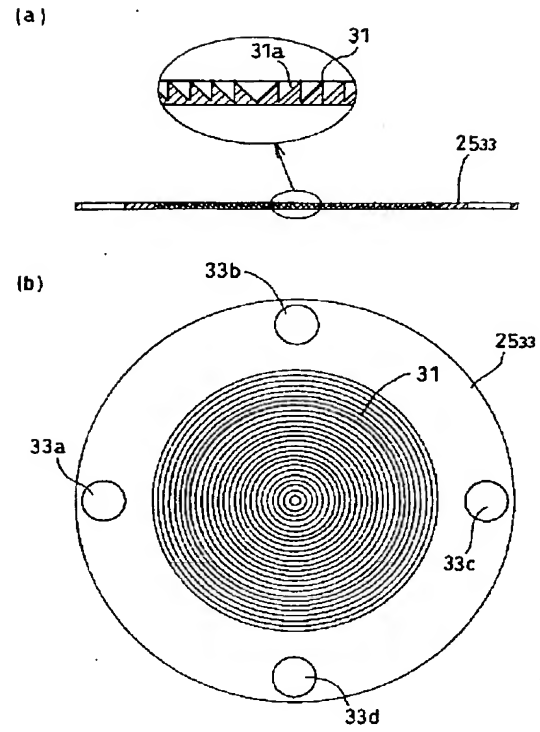
【図10】



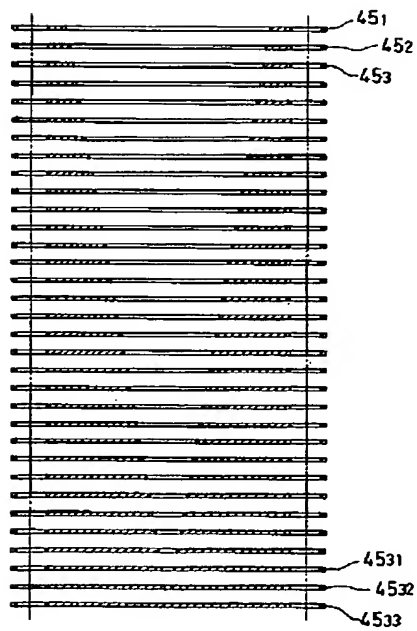
【図7】



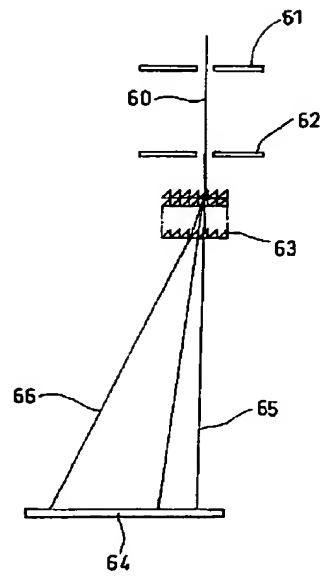
【図8】



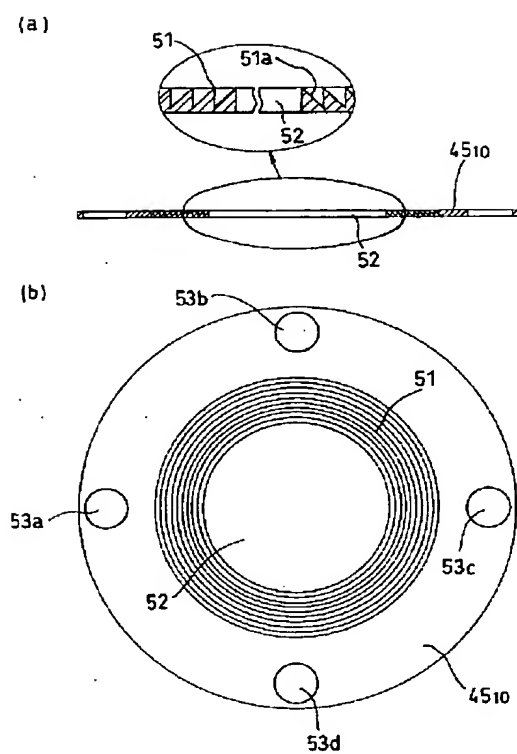
【図11】



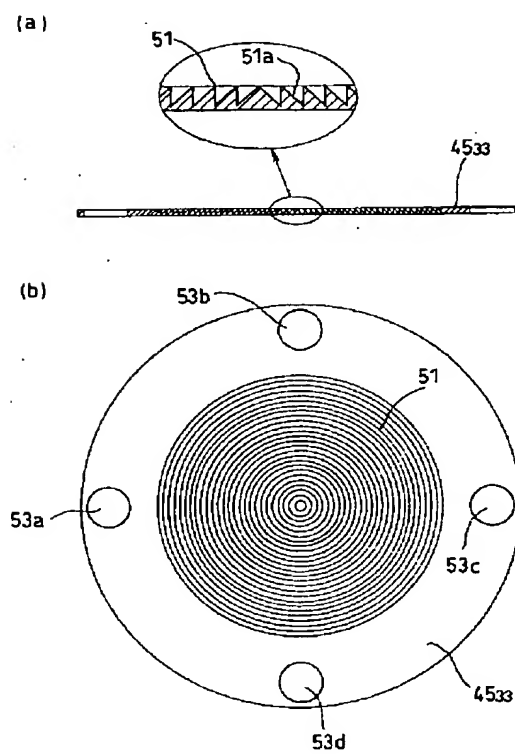
【図14】



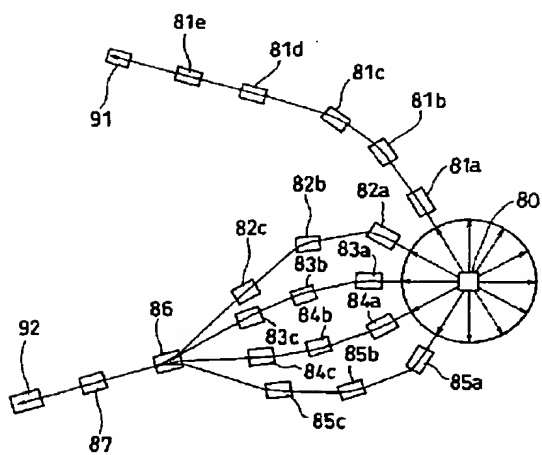
【図12】



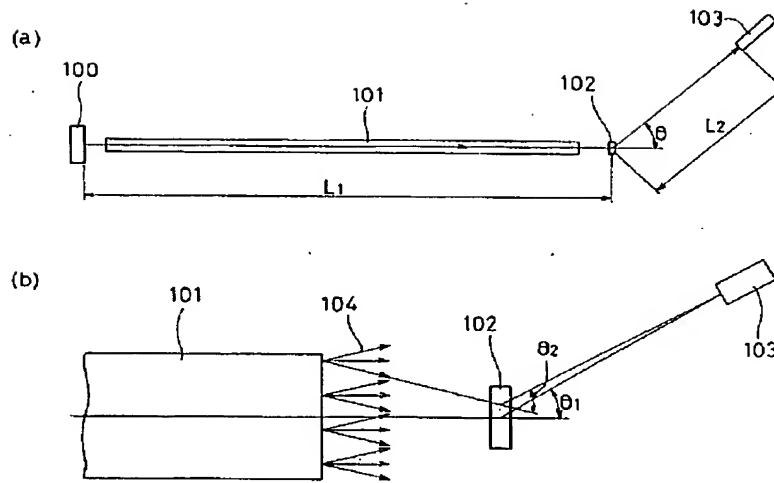
【図13】



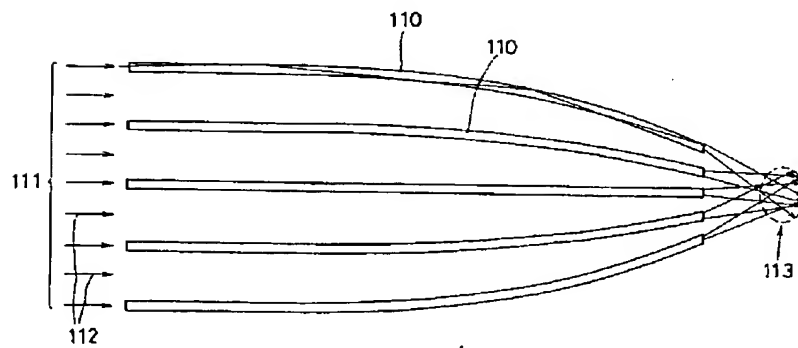
【図15】



【図16】



【図17】



フロントページの続き

Fターム(参考) 2G088 EE27 EE29 FF09 FF15 GG25
JJ01 JJ11

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☒ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.